

Approved For Release STAT
2009/08/31 :
CIA-RDP88-00904R000100130

Dec 1988

Approved For Release
2009/08/31 :
CIA-RDP88-00904R000100130



Вторая Международная конференция
Организации Объединенных Наций
по применению атомной энергии
в мирных целях

A/CONF/15/P23//
R/23
ORIGINAL: RUSSIAN

С подтверждением до официального сообщения на Конференции

ПОСТУПЛЕНИЕ В РАСТЕНИЯ И НАКОПЛЕНИЕ В УРОЖАЕ
СТРОНИЦИЯ, ЦЕЗИЯ И НЕКОТОРЫХ ДРУГИХ ПРОДУКТОВ
ДЕЛЕНИЯ

И.В.Гулякин, Е.В.Ддинцева

Радиоактивные продукты деления, попавшие на земную поверхность и в атмосферу, могут включаться в биологический цикл круговорота веществ. Кроме того, многие представители из группы продуктов деления тяжелых ядер являются радиоактивными изотопами так называемых редких и рассеянных химических элементов, которые в незначительном количестве содержатся в растениях и животных.

Методика меченых атомов, позволяющая быстро определять ничтожно малые количества редких элементов в растениях, может помочь выяснить значение некоторых из этих элементов, которое они, возможно, имеют для растений.

С точки зрения радиационного действия для сельскохозяйственных объектов, очевидно, наиболее существенное значение имеет изучение поведения долгоживущих продуктов деления. Возможная роль коротко-живущих представителей этой группы веществ ограничивается продолжительностью их жизни, что может обуславливать и сравнительно небольшой ареал их распространения в природе, тогда как созданная радиоактивность в результате попадания на земную поверхность или в атмосферу долгоживущих продуктов деления является длительной и может распространяться при соответствующих условиях на значительные площади.

Все сказанное показывает, что исследование поступления в растения радиоактивных продуктов деления, их накопление и распределение в урожае различных культур в зависимости от свойств почвы и других

-2-

условий внешней среды представляет в настоящее время одну из важных задач сельскохозяйственной науки. Поэтому в последние годы у биологов естественно появился интерес к изучению поведения микрокаличеств радиоактивных изотопов стронция, цезия и других продуктов деления в почвах и растениях. Джекобсон и Оверстрит (1), работая с различными радиоизотопами, наблюдали более интенсивное накопление в надземной части стронция, тогда как радиоактивные изотопы иттрия, церия, циркония в основном задерживаются в корнях и относительно небольшое количество их поступает в надземные органы растения. Нил, Олафсон и др. (2), изучая поступление Sr^{90} , ^{137}Cs , Ru^{106} , Ce^{144} и Y^{91} из различных почв в растения, нашли, что наиболее интенсивно по сравнению с радиоактивными изотопами других элементов поступает в растения Sr^{90} .

Исследованиями этих авторов показано, что радиоактивные изотопы поступившие в растение, в основном концентрируются в вегетативных органах и относительно небольшое количество их накапливается в семенах.

Аналогичные результаты были получены рядом других исследователей: Вламис и Пирсон (3), Редиске и Селдерс (4,5), Ромней и др.(6), Нишита и др. (7) показали зависимость поступления в растения продуктов деления от минералогического состава почвы. Эти же авторы приводят данные о влиянии органического вещества на поступление стронция-90 в растения ячменя и томата (8,9).

Авторы настоящего сообщения в течение нескольких лет проводили исследования по изучению поступления в растения радиоактивных продуктов деления и накопления их в урожае в зависимости от свойств почвы, применения удобрений и других условий внешней среды. Некоторые результаты этих исследований в последние годы были опубликованы (10-23). Большое количество опытов проводилось с радиоактивными изотопами стронция и цезия, имеющими большее значение, чем другие радиоизотопы из группы продуктов деления.

Поступление в растения радиоактивных продуктов деления и накопление их в урожае

Отдельные радиоактивные изотопы из группы продуктов деления, поступление в растения, по-разному распределяются между надземной частью и корнями.

В условиях водных культур при содержании продуктов деления 0,25 мкюри на 5,5л раствора относительное накопление радиострон-

-3-

ция в надземной части растений (табл.1) составляет примерно 80-90%, а радиоцезия 50% и более от содержания их во всем растении. Радиоактивные изотопы церия, рутения, циркония и другие продукты деления концентрируются главным образом в корнях растений. Накопление этих продуктов деления в надземной части растения обычно не превышает долей процента от содержания их во всем растении.

Таблица 1

Распределение продуктов деления между надземной частью и корнями растений (в % от общего содержания во всем растении, водные культуры)

Радиоизотопы	25 июня		16-18 июля		3-7 августа	
	надземн. часть	корни	надземн. часть	корни	надземн. часть	корни
Горох						
Стронций-90	88,07	11,93	89,26	10,74	90,33	9,67
Цезий-137	29,93	70,07	50,62	49,38	49,94	50,06
Рутений-106	0,21	99,79	2,76	97,24	1,01	98,92
Церий-144	-	-	2,38	97,62	5,55	94,45
Иттрий-91	4,45	95-55	3,04	96,96	1,38	98,62
Цирконий-95	0,15	99,85	0,27	99,73	0,39	99,61
Ниобий-95	0,90	99,10	-	-	7,27	92,73
Яровая пшеница						
Стронций-90	71,60	28,40	61,44	38,56	80,68	19,32
Цезий-137	21,63	78,37	40,26	59,74	59,14	40,86
Рутений-106	0,05	99,95	0,04	99,96	0,03	99,97
Церий-144	0,33	99,67	0,41	99,59	0,79	99,21
Иттрий-91	0,30	99,70	0,31	99,69	0,55	99,45
Цирконий-95	0,08	99,92	0,12	99,88	0,08	99,92
Ниобий-95	0,69	99,31	1,08	98,92	3,84	96,16

Аналогичная закономерность (табл.2) в распределении радиоактивных изотопов стронция, цезия и церия наблюдается при выращивании растений на твердом субстрате в условиях песчаных культур. Относительно несколько большее количество радиоцезия содержалось в над-

-4-

земной части гороха при поступлении его из песка по сравнению с поступлением из водного раствора. В этих опытах вносились 0,03 мкюри радиоцезия на 1 кг песка.

Таблица 2

Распределение продуктов деления между надземной частью и корнями растений (в % от общего содержания во всем растении, песчаные культуры)

Радиоизотопы	14 июня		16-26 июля		Созревшие растения	
	надземн. часть	корни	надземн. часть	корни	надземн. часть	корни

Яровая пшеница

Стронций-90	78,76	21,24	86,80	13,20	91,92	8,08
Цезий-137	60,19	39,81	49,87	50,13	59,90	40,10
Церий-144	1,23	98,77	5,99	94,01	3,25	96,75

Горох

Стронций-90	76,68	23,32	86,73	13,27	88,98	11,02
Цезий-137	60,86	39,14	77,63	22,37	74,23	25,77
Церий-144	12,57	87,43	14,71	85,29	14,79	85,21

В течение вегетационного периода накопление радиоактивных продуктов деления в пшенице и горохе повышается с нарастанием надземной массы (рис.1,2,3,4) растений. Содержание продуктов деления на единицу сухого вещества по мере увеличения органической массы растений снижается.

Такая закономерность в накоплении продуктов деления наблюдается и в опытах с другими сельскохозяйственными растениями. Только со временем созревания, когда органическая масса растений нарастает медленнее или совсем перестает увеличиваться, а поступление в растения продуктов деления в условиях водных культур продолжается, содержание их на единицу сухого вещества в этот период несколько повышается. При прочих равных условиях на единицу сухого вещества гороха накапливается больше продуктов деления, чем на единицу сухого вещества пшеницы.

-5-

В отношении накопления общего количества радиоактивных продуктов деления и их содержания на единицу сухого вещества в процессе роста растений наблюдается такая же закономерность, как и для азота, фосфора, калия и других биологически важных элементов.

Радиоактивные продукты деления, поступившие в надземную часть растения, накапливаются главным образом в вегетативных органах, и значительно меньшая часть их содержится в генеративных органах.

Данные опытов с водными культурами при концентрации продуктов деления 45,5 мкюри на Гл показывают, что накопление радиоцезия в зерне (табл.3) не превышает примерно 15-23% от содержания его в надземной части растений. Содержание других продуктов деления в зерне по сравнению с цезием значительно меньше.

Закономерность относительного распределения в надземных органах растений радиоактивных изотопов стронция и цезия в условиях почвенных культур (табл.4) сохраняется примерно такая же, как и в водных культурах. Однако радиоцезия из почвы поступает в растения значительно меньше, чем радиостронция.

Радиостронций по распределению между надземной частью и корнями сильно отличается от других продуктов деления (за исключением радиоцезия). Между различными частями урожая эти изотопы распределяются иначе.

Таблица 3

Распределение продуктов деления в созревших
растениях

Радиоизотопы	Тыс.имп/мин на одно рас- тение			В % от содержания в над- земной массе		
	листья, стебли	створки боба или колосья без зер- на	зерно	листья, стебли	створки боба или колосья без зер- на	зерно
1	2	3	4	5	6	7

Пшеница

Стронций-90	527,6	51,5	31,1	86,46	6,44	5,10
Рутений-106	1,1	0,3	0,06	75,35	20,55	4,10
Цезий-137	1432,1	270,0	305,1	71,35	13,45	15,20

-6-

1	2	3	4	5	6	7
Церий-144	4,6	0,4	0,1	90,20	7,84	1,96
Иттрий-91	3,6	0,5	0,4	80,00	11,12	8,88
Ниобий-95	0,5	0,1	0,06	75,76	15,16	9,01

Горох

Стронций-90	1216,9	140,5	21,8	88,23	10,19	1,58
Рутений-106	4,2	0,3	0,3	87,50	6,25	6,25
Цезий-137	1065,9	162,5	361,5	67,04	10,22	22,74
Церий-144	16,9	0,7	0,2	94,95	3,93	1,12
Иттрий-91	22,5	0,9	0,01	96,11	3,85	0,05
Цирконий-95	0,9	0,1	0	90,00	10,00	-
Ниобий-95	0,7	0,1	0	87,50	12,50	-

Таблица 4

Распределение продуктов деления в органах
созревших растений

Схема опыта	Тыс.имп/мин на однс растение			В % от содержания во всей надземной массе		
	солома	створки	зерно	солома	створ- ки	зерно
1	2	3	4	5	6	7

Горох

Глинистый песок + Sr ⁹⁰	1409,7	451,6	58,8	73,42	23,52	3,06
Средний суглинок + Sr ⁹⁰	590,8	147,6	18,3	78,07	19,51	2,42
Тяжелый суглинок + Sr ⁹⁰	171,1	53,5	6,7	73,97	23,13	2,90
Глинистый песок + Cs ¹³⁷	2,4	0,7	0,9	60,0	17,50	22,50
Средний суглинок + Cs ¹³⁷	1,9	0,5	0,5	65,52	17,24	17,24
Тяжелый суглинок + Cs ¹³⁷	0,6	0,1	0,2	66,67	11,11	22,22

Овес

Глинистый песок + Sr ⁹⁰	1145,3	425,2	69,1	85,49	9,34	5,17
Средний суглинок + Sr ⁹⁰	604,1	20,7	22,6	93,32	3,19	3,49
Тяжелый суглинок + Sr ⁹⁰	190,0	15,6	8,4	88,78	7,29	3,92

-7-

1	2	3	4	5	6	7
Глинистый песок + Cs^{137}	33,6	4,7	8,7	71,48	10,0	48,52
Средний суглинок + Cs^{137}	8,2	1,3	3,3	64,06	10,2	25,74
Тяжелый суглинок + Cs^{137}	2,6	0,5	0,7	68,42	13,13	48,45

Цезий, поступивший в надземную часть, относительно больше (табл.5) накапливается в зерне, чем другие радиоизотопы и, в частности, стронций-90, что видно из сопоставления отношения активности зерна и соломы в условиях водных культур.

Таблица 5

Отношение активности зерна к активности соломы

Растения	Cs^{137}	Sr^{90}	Ru^{106}	Ce^{144}
Пшеница	0,21	0,06	0,06	0,02
Овес	0,52	0,04	0,21	0,02
Горох	0,34	0,02	0,07	0,01
Фасоль	0,15	0,04	0,12	0,01

Примерно такая же закономерность в распределении радиоактивных изотопов цезия и стронция между зерном и соломой наблюдается в условиях почвенных культур (табл.6).

Таблица 6

Отношение активности зерна к активности соломы в условиях почвенных культур

Почвы	Горох		Овес	
	Cs^{137}	Sr^{90}	Cs^{137}	Sr^{90}
Глинистый песок	0,37	0,04	0,26	0,06
Средний суглинок	0,27	0,03	0,40	0,04
Тяжелый суглинок	0,33	0,04	0,30	0,04

-8-

Цезий, являясь близким по физико-химическим свойствам калию, обладает большей подвижностью в растении, чем другие продукты деления. Этим отчасти, возможно, и объясняется более равномерное распределение по органам растения радиоцезия по сравнению с другими радиоизотопами из группы продуктов деления и повышенное его содержание в репродуктивных органах.

Большая по сравнению со стронцием подвижность цезия в растении наблюдается (12,19) при нанесении этих элементов на листья. При нанесении радиоцезия на листья растений передвижение его в другие органы составляло в наших опытах 57-88% от количества нанесенного на лист. При этом до 10-20% от нанесенного количества цезия накапливалось в репродуктивных органах. В этих опытах передвижение радиостронция, нанесенного на листья и другие органы растений, составляло примерно 0,1-0,4% от нанесенного количества.

Аналогично кальцию (24,25) стронций, нанесенный на листья, почти не перемещается в другие органы растения.

На способность отдельных радиоизотопов из группы продуктов деления, поступивших через корни, к передвижению по растению может в известной мере указывать накопление их в зависимости от возраста того или иного органа.

Если (при опытах в водных культурах) содержание цезия сравнительно мало колеблется в разновозрастных листьях и междуузлиях стебля (табл.7), то различие в накоплении радиоактивных изотопов других элементов в листьях и междуузлиях стебля в зависимости от их возраста выявляется весьма отчетливо.

Содержание продуктов деления, за исключением цезия, значительно выше в более старых листьях и междуузлиях стеблей растений.

Таблица 7

Содержание продуктов деления в зависимости от возраста (в тыс.имп. на 1г сухого вещества)

Органы и части растения	Cs^{137}	Sr^{90}	Y^{91}	Ru^{106}	Ce^{144}	Zr^{95}
1	2	3	4	5	6	7
Пшеница						
Лист 2-й снизу	1529,1	947,3	37,4	1,6	13,5	0,5
Лист 5-й снизу	1942,0	324,6	1,5	0,6	1,5	0,3

-9-

1	2	3	4	5	6	7
Междоузлие 2-е						
снизу	716,0	185,7	2,9	0,2	1,5	0,1
Междоузлие 5-е						
снизу	1130,9	248,4	0,3	0,1	1,1	0,2
Горох						
Лист 5-й снизу	2648,5	1584,7	125,5	5,4	73,4	0,4
Лист 12-й снизу	1187,0	231,0	3,1	0,6	1,5	0,1
Междоузлие 5-е						
снизу	1597,0	1191,1	9,1	0,5	10,5	0,4
Междоузлие 12-е						
снизу	812,8	425,9	0,4	0,3	0,8	0,1

Сравнительное содержание радиоактивных
продуктов деления в урожае растений и
во внешней среде

Живые организмы, в частности растения (26-31), способны концентрировать в своем составе радиоактивные элементы в больших количествах, чем они содержатся в окружающей среде.

Одним из главных путей, через который радиоактивные продукты деления попадают в биологические цепи, является путь через почву и растения. При попадании продуктов деления в почву некоторые из них, например стронций и цезий, сорбируются твердой фазой почвы по типу ионообменного поглощения и вытесняются катионами нейтральных солей. Сорбированный радиоцезий закрепляется в поглощенном состоянии (19,32) сильнее, чем радиостронций. Очевидно, часть поглощенного радиоцезия фиксируется в почве безобменно, как это имеет место для калия, к которому близок по своим физико-химическим свойствам цезий. Поглощенный радиоцезий вытесняется в большем количестве (22,32) при взаимодействии почвы с раствором хлористого калия, чем с раствором хлористого кальция.

Некоторые продукты деления, поглощенные почвой, не поддаются вытеснению или очень слабо десорбируются катионами нейтральных солей.

-10-

В связи с поглощением и закреплением в почве продуктов деления поступление их в растения из почвы по сравнению с поступлением из водного раствора значительно снижается (15, 19). Особенно резкое различие наблюдается для радиоактивного изотопа цезия. Разница в поступлении радиостронция из почвы и водного раствора в растения значительно меньше, чем в случае радиоцезия, что объясняется различной прочностью закрепления их в почве. Поэтому продукты деления по-разному концентрируются растениями. Особенно высока степень концентрации растениями радиостронция. При содержании его в количестве $1,4 \cdot 10^{-4}$ кюри на 1 кг почвы коэффициент концентрации радиостронция в зависимости от свойств почвы (табл.8) в соломе овса колебался от 4 до 15,7, в соломе гороха - от 15,7 до 69,3, в сене клевера - от 8 до 25,7 и в сене тимофеевки - от 2,6 до 16,4.

В некоторых случаях на более легких почвах коэффициент концентрации радиостронция в зерне гороха и овса был больше единицы. При таком же содержании радиоцезия в почве коэффициент концентрации его в урожае, за исключением сена тимофеевки, был значительно ниже единицы, т.е. радиоактивного цезия содержалось в 1 кг урожая меньше, чем в 1 кг почвы.

Таблица 8
Коэффициент концентрации растениями стронция
и цезия из почвы

Растения	Глинистый песок		Средний суглиноок		Тяжелый суглиноок	
	Sr^{90}	Cs^{137}	Sr^{90}	Cs^{137}	Sr^{90}	Cs^{137}
В год внесения						
Овес						
Солома	15,7	0,6	11,5	0,21	4,0	0,07
Зерно	1,3	0,2	0,5	0,1	0,2	0,02
Горох						
Солома	69,3	0,16	40,7	0,16	15,7	0,08
Зерно	4,7	0,05	4,1	0,04	0,4	0,01
Клевер (сено)	25,7	1,2	18,0	0,34	8,0	0,45
Тимофеевка (сено)	15,4	2,4	10,0	1,0	2,6	0,2

-II-

Растения	Глинистый песок		Средний сугли- нок		Тяжелый су- глиноч	
	Sr ⁹⁰	Cs ¹³⁷	Sr ⁹⁰	Cs ¹³⁷	Sr ⁹⁰	Cs ¹³⁷

На 2-й год после внесения

Овес

Солома	13,2	0,44	7,3	0,36	2,3	0,10
Зерно	0,52	0,09	0,33	0,13	0,18	0,07

Горох

Солома	44,7	0,19	28,7	0,09	14,1	0,04
Зерно	0,38	0,05	0,42	0,03	0,14	0,01
Клевер (сено)	17,3	0,26	27,4	0,12	6,9	0,11
Тимофеевка (сено)	11,8	0,15	5,1	0,18	1,9	0,10

Данные табл.8 показывают, что в урожае бобовых растений происходит большая концентрация стронция, чем в урожае злаковых растений.

На второй год после внесения радиостронция коэффициент концентрации его в растениях был меньше, что, по-видимому, обусловлено более прочным закреплением вследствие более длительного взаимодействия с почвой. Разница в коэффициенте концентрации растениями радиоцезия в отдельные годы незначительная, так как поступление его в растения из почвы по сравнению со стронцием значительно меньше.

Большая концентрация стронция и цезия в урожае (табл.9) наблюдается в том случае, когда поглощение этих радиоизотопов растениями происходит не из почвы, а из водного раствора или чистого песка. В этих опытах концентрация цезия и стронция была $5 \cdot 10^{-5}$ кюри на 1 л раствора и $3 \cdot 10^{-5}$ кюри на 1 кг песка. Таким образом, при известных условиях в урожае сельскохозяйственных растений может происходить значительная концентрация радиоактивных продуктов деления, в частности стронция.

-12-

Таблица 9

Коэффициент концентрации стронция и цезия
растениями из водного раствора и песка

Изотопы	Водные культуры				Песчаные культуры			
	Пшеница		Горох		Пшеница		Горох	
	соловья	зерно	соловья	зерно	соловья	зерно	соловья	зерно
Стронций-90	26,9	1,7	111,5	2,9	39,7	3,2	97,4	3,5
Цезий-137	88,9	32,1	125,2	54,8	37,2	7,1	40,4	24,6

Коэффициент концентрации зависит от возраста и биологических особенностей растения, от свойств почвы и других условий внешней среды.

Благодаря тому, что в урожае сельскохозяйственных культур происходит концентрация радиостронция, некоторые почвы могут заметно обедняться стронцием. Вынос же с урожаем растений радиоцезия даже из легких почв весьма незначительный. В качестве примера можно привести следующие данные опытов, продолжавшихся в течение 2 лет с разными почвами (табл.10).

Таблица 10

Вынос стронция и цезия с урожаем растений
из почв

Почвы	Стронций-90			Цезий-137		
	Вынос в % от количества в почве		Вынос за 2 года в % от внесенного кол-ва	Вынос в % от количества в почве		Вынос за 2 года в % от внесенного кол-ва
	1-й год	2-й год	1-й год	2-й год	1-й год	1-й год
1	2	3	4	5	6	7

Клевер

Глинистый песок	25,74	18,75	39,66	0,22	0,72	0,94
Средний суглинок	13,80	10,96	23,25	0,14	0,22	0,36

-13-

1	2	3	4	5	6	7
Тяжелый суглинок	5,34	7,24	12,20	0,06	0,15	0,21
Горох						
Глинистый песок	11,02	9,61	19,57	0,03	0,05	0,08
Средний суглинок	4,34	8,91	12,86	0,02	0,03	0,05
Тяжелый суглинок	1,32	3,64	4,91	0,01	0,01	0,02
Тимофеевка						
Глинистый песок	9,23	5,73	14,43	0,46	0,18	0,64
Средний суглинок	5,11	2,45	7,44	0,26	0,14	0,40
Тяжелый суглинок	0,87	1,02	1,87	0,06	0,06	0,12
Овес						
Глинистый песок	8,33	5,31	13,20	0,40	0,20	0,60
Средний суглинок	4,03	2,60	6,53	0,11	0,16	0,27
Тяжелый суглинок	1,33	0,78	2,10	0,03	0,04	0,07

**Влияние некоторых условий на накопление
продуктов деления в урожае сельскохозяй-
ственных растений**

Свойства почвы, обуславливающие прочность закрепления сорбированных продуктов деления, особенно стронция, в значительной мере могут определять интенсивность их поступления в растения.

Усиление сорбционных свойств почвы и повышение прочности закрепления поглощенных радиоактивных продуктов деления могут существенно уменьшать размеры накопления их в урожае сельскохозяйственных растений. Кроме того, в литературе имеется указание о тесной зависимости поступления в растения радиоактивных изотопов стронция и цезия, а также биологически важных элементов - кальция и калия.

Наши исследования с проростками различных растений в условиях водных культур (44) показывают, что с увеличением в растворе концентрации кальция и калия снижается поступление соответственно радиоактивных изотопов стронция и цезия, хотя пропорциональности

-14-

при этом не наблюдается.

При повышении концентрации кальция в растворе в 40 раз поступление радиостронция в растения снижалось в 2-3 раза, а при повышении концентрации калия в 100 раз поступление радиоцезия уменьшалось только в 5-7 раз.

Кроме того, по литературным данным, известна зависимость в соотношении кальция и стронция, калия и цезия во внешней среде, в частности в почве и растениях. Указывается, что для большинства растений отношение содержания стронция-90 к кальцию меньше, чем отношение этих элементов в почве.

Коэффициент расходления в содержании стронция-90 по отношению к содержанию кальция между верхним слоем почвы и растениями считаются равным приблизительно 1,4.

В опытах с песчаными культурами при содержании стронция в песке 158 тыс. "САИМАН" нами получены довольно близкие коэффициенты, показывающие снижение отношения стронция-90 к кальцию в растениях.

Предварительные данные показывают, что величина соответствующего коэффициента изменяется в онтогенезе растений (табл. 11).

Таблица 11

	Коэффициент отношения	
	$_{\text{Sr}}^{90} / \text{Ca}$ в песке	$_{\text{Cs}}^{137} / \text{K}$ в песке
	$_{\text{Sr}}^{90} / \text{Ca}$ в растении	$_{\text{Cs}}^{137} / \text{K}$ в растении
I	2	3

Пшеница

В начале фазы выхода в трубку (14/VI)	1,6	3,1
В колошение (40/VI)	1,2	3,2
В период налива зерна (26/VII):		
солома	1,0	3,1
зерно	-	3,6
Созревание растений:		
солома	1,0	1,7

-15-

1	2	3
зерно	-	2,8
л'орох		
При высоте растений 35-45 см	1,5	1,4
В цветение	1,5	2,2
Период налива зерна	1,2	1,6
Созревание растения:		
солома	1,1	1,1
зерно	- .	2,5

С возрастом растений в условиях песчаных культур этот коэффициент для стронция приближается к единице, т.е. между отношением стронция-90 к кальцию в песке и в растениях разницы не наблюдается.

В условиях песчаных культур получен сравнительно небольшой коэффициент отношения цезия к калию в песке и в растении. Для почв в зависимости от их свойств этот коэффициент может быть больше.

В опытах, проводившихся нами в течение нескольких лет при совместном внесении в дерново-подзолистую почву извести и перегноя, содержание стронция-90 (табл.12) в соломе различных растений уменьшалось примерно в 1,5 - 3 раза, а в зерне - в 2 - 5 раз.

Лабораторные исследования показали (27), что при внесении извести и перегноя в эту почву прочность закрепления поглощенного стронция-90 в почве повышается и он меньше вытесняется нейтральными солями. При внесении извести и перегноя прочность поглощенного почвой стронция-90 повысилась в 4 раза.

На накопление продуктов деления в урожае растений может оказать существенное влияние глубина их заделки в почву. В одном из опытов, проводившихся на среднем дерново-подзолистом суглинике, при внесении смеси продуктов деления из расчета 600 кг/га и заделке на глубину 70 см, содержание их в урожае некоторых растений (табл.13) уменьшилось более чем в 40 раз, по сравнению с заделкой на 50 см.

-16-

Таблица 12

Влияние извести и перегной на содержание
стронция-90 в урожае (в тыс.имп/мин
на 1г сухого вещества)

Культура	Почва	Почва + известь	Почва + перегной	Почва + известь + перегной
Пшеница				
солома	373,8	303,8	170,0	155,9
зерно	14,9	17,8	12,9	8,8
Горох				
солома	2570,5	1490,9	833,8	862,5
зерно	34,2	43,1	10,7	6,9

Таблица 13

Содержание в урожае продуктов деления при
различной глубине их заделки (тыс.имп/мин
на 1г сухого вещества)

Глубина заделки	В 1-й год внесения				На 2-й год внесения				На 3-й год	
	Овес		Горох		Вика		Картофель		Свекла	
	соло- ма	зерно- ма	соло- ма	зер- но	соло- ма	бот- ва	клуб- ни	бот- ва	клуб- ни	солома
30 см	34,1	7,9	9,0	1,3	111,1	41,3	0,1	14,8	3,8	5,8
70 см	1,9	0,5	1,9	0	0,6	9,5	0,1	2,0	2,0	0,6

Известное влияние на поступление продуктов деления в растения может оказывать применение органических и минеральных удобрений.

В опыте, проведенном на почве, в которую вносились удобрения по определенной схеме в течение 44 лет, наблюдалось сильное влияние удобрений на содержание продуктов деления в урожае овса (табл.14).

Таблица 14

Содержание продуктов деления в урожае овса
в зависимости от применения удобрений
(тыс.имп/мин на 1г сухого вещества)

Удобрения	Sr ⁹⁰		Cs ¹³⁷		Ce ¹⁴⁴	
	солома	зерно	солома	зерно	солома	зерно
О	1089,1	132,4	26,9	8,7	2,3	0,02
Н	827,5	102,5	19,7	6,9	2,4	0
Р	893,1	56,8	18,5	5,3	1,8	0
К	858,7	123,1	1,4	0,4	2,5	0
НР	958,5	83,7	11,5	3,2	3,2	0
НК	863,8	105,5	2,3	0,3	3,8	0,01
Ж	577,1	64,7	2,3	0,9	1,5	-
НРК	723,0	53,4	3,0	0,6	1,5	0
НРК + навоз	228,0	34,6	6,7	1,9	0,3	0

При совместном применении минеральных удобрений с навозом содержание стронция-90 в соломе снизилось в 5 раз, а в зерне в 4 раза по сравнению с контролем. Заметное снижение содержания радиостронция, особенно в зерне, наблюдалось при внесении фосфорных удобрений.

Поступление цезия в растения и накопление его в урожае резко снижалось при внесении одних калийных удобрений и в комбинации их с другими удобрениями.

З а к л ю ч е н и е

Радиоактивные продукты деления при попадании на земную поверхность и в атмосферу могут включаться в биологический цикл круговорота вещества, при этом наиболее существенная роль принадлежит растениям.

Продукты деления могут накапливаться растениями в большей концентрации, чем они содержатся во внешней среде, особенно радиоактивные изотопы стронция, а при известных условиях и радиоцезий.

Продукты деления, накапливаясь в большом количестве в урожае и не вызывая существенного повреждения растений, могут, по-видимому,

иметь практическое значение для сельского хозяйства.

Наиболее высокая способность накапливаться в урожае сельскохозяйственных растений имеется у стронция-90. Это обусловлено тем, что до 80-90% поступившего в растения стронция накапливается в надземных органах. Кроме того, радиостронций находясь в почве в более подвижном состоянии, чем другие продукты деления, интенсивней может поступать в растения. Из водного раствора радиостронций может накапливаться в растениях примерно в 100 раз больше, а из почвы в зависимости от ее свойств и особенностей растения в 5-10 раз выше, чем его концентрация во внешней среде.

При известных условиях содержание цезия-137 в растениях может быть также высоким. При поступлении через листья цезий интенсивно передвигается в другие органы и в значительном количестве может накапливаться в урожае, в частности в репродуктивных органах растения.

Из водной среды цезий-137 способен накапливаться в растениях в 100-1000 раз больше, чем его концентрация во внешнем растворе.

Радиоактивные продукты деления, в частности стронций и цезий, в большем количестве накапливаются в урожае растений из легких почв. С возрастом растений увеличивается абсолютное количество в них радиоактивных продуктов деления, а содержание на единицу сухого вещества снижается.

Большое количество продуктов деления, поступившее в растение, концентрируется в вегетативных органах. Радиоцезий относительно больше накапливается в генеративных органах, чем другие радиоактивные изотопы из группы продуктов деления.

Известкование кислых почв, внесение органического вещества в почву снижают поступление в растения продуктов деления и накопление их в урожае, особенно на легких почвах.

При систематическом внесении навоза и минеральных удобрений снижается накопление стронция и цезия в урожае растений.

Наиболее существенное снижение накопления в сельскохозяйственных растениях продуктов деления наблюдается при глубокой заделке их в почву, особенно на тяжелых почвах.

На легких почвах некоторые растения с урожаем выносят относительно большое количество стронция-90 и заметно могут уменьшать его содержание в почве.

Л и т е р а т у р а

1. Jacobson L., Overstreet R. The uptake by plants of plutonium and some products of nuclear fission absorbed on soil colloids.- *Soil Science*, 1948, 65, 129
2. Neel J.W., Oldson J.H., Steen A.J., Gillooly B.E., Nishita H., Larson K.H. Soil plant interrelationships with respect to the uptake of fission products. USA AEC, Techn. Serv., UCLA - 247, 1953
3. Wlamis I., Pearson G. Absorption of radioactive Zirconium and Niobium by plant roots from soil and its theoretical significance. *Science*, 1950, 111, 112
4. Rediske J.H., Selders A.A. The absorption and translocation of Strontium by plants. *Plant Physiol.*, 1953, 28, 594
5. Rediske J.H., Selders A.A. The uptake and translocation of Yttrium by higher plants. *Amer. J. Bot.*, 1954, 41, 228
6. Romney E., Rhoads W., Larson K. Plant uptake of Strontium-90, Ruthenium-106, Caesium-137, and Cerium-144 from three different types of soil. USA AEC, UCLA-294, 1954
7. Nishita H., Kowalewsky B.W., Larson K. Fixation and extractability of fission products contaminating various soils and clays. *Soil Science*, 1956, 84, 317
8. Nishita H., Kowalewsky B.W., Larson K.H. Influence of soil organic matter on mineral uptake by barley seedlings. *Soil Science*, 1956, 82, 307
9. Nishita H., Kowalewsky B.W., Larson K.H. Influence of soil organic matter on mineral uptake by tomato plants. *Soil Science*, 1956, 82, 401
10. Гулякин И.В., Юдинцева Е.В. Поступление в растения радиоактивных изотопов стронция, цезия, рутения, циркония и церия. Докл. АН СССР, 1956, 111, 206
11. Гулякин И.В., Юдинцева Е.В. К вопросу о действии радиоактивных изотопов на растения. Докл. АН СССР, 1956, 111, 275
12. Гулякин И.В., Юдинцева Е.В. Поступление радиоактивных изотопов в растения через листья. Докл. АН СССР, 1956, 111, 709
13. Гулякин И.В., Юдинцева Е.В. Поступление в растения продуктов деления из водного раствора. В сб.: О поведении радиоактивных продуктов деления в почвах, их поступлении в растение и накоплении в урожае, Изд. АН СССР, 1956, 79

-20-

14. Гулякин И.В., Юдинцева Е.В., Солеткова Н.И. Влияние концентрации водородных ионов, калия и кальция в растворе на поступление в растения продуктов деления. В том же сборнике, 97

15. Гулякин И.В., Юдинцева Е.В. Поступление в растения продуктов деления из почвы. В том же сборнике, 108

16. Гулякин И.В., Юдинцева Е.В. Поступление продуктов деления в растения при внесении в почву извести и органического вещества. В том же сборнике, 119

17. Гулякин И.В., Юдинцева Е.В. Влияние доз извести и калия на поступление продуктов деления в растения из почвы. В том же сборнике, 138

18. Гулякин И.В., Юдинцева Е.В. Передвижение продуктов деления в растении при нанесении на листья. В том же сборнике, 143

19. Гулякин И.В., Юдинцева Е.В. Поступление в растения продуктов деления и их действие на растительный организм. Изв. Тимирязевск. с.-х. акад., 1956, 3, 122

20. Гулякин И.В., Юдинцева Е.В. Действие на растения и накопление в урожае радиоактивных продуктов деления при различном их размещении в почве. Изв. Тимирязевск. с.-х. акад., 1957, 3, 53

21. Гулякин И.В., Юдинцева Е.В. О поступлении в растения радиоактивных продуктов деления и о биологическом очищении от них почвы. Изв. Тимирязевск. с.-х. акад., 1957, 3, 81

22. Гулякин И.В., Юдинцева Е.В. Вопросы агрохимии радиоактивных изотопов стронция, цезия и других продуктов деления. Изв. Тимирязевск. с.-х. акад., 1958, 1, 20

23. Гулякин И.В., Юдинцева Е.В. Поступление в растения радиоактивных продуктов деления и накопление их в урожае при внесении в почву извести, перегноя и калийных удобрений. Изв. Тимирязевск. с.-х. акад., 1957, 2, 123

24. Мосолов И.В., Лапшина А.Н., Панова А.В. Передвижение радиоактивного кальция Ca^{45} в растении при внекорневом его внесении. Докл. АН СССР, 1954, 98, 495

25. Петербургский А.В. Радиоизотопы фосфора и кальция в опытах по изучению питания растений и действия удобрений. Изв. Тимирязевск. с.-х. акад., 1956, 3, 405

26. Баранов В.И. Об усвоении радиоактивных элементов растениями. Докл. АН СССР, 1939, 24, 945

-21-

27. Баранов В.И., Кунашева К.Г. Содержание радиоактивных элементов ториевого ряда в надземных растениях. Тр. Биогеохимической лаборатории, 1954, 10, 94

28. Бруновский К., Кунашева К.Г. О содержании радия в некоторых растениях. Докл. АН СССР, Серия А, 1930, 20, 537

29. Вернадский В.И. Изотопы и живое вещество. Докл. АН СССР, 1926, декабрь, 215

30. Вернадский В.И. О концентрации радия в растительных организмах. Докл. АН СССР, Серия А, 1930, 20, 539

31. Швейцер А. О радиоактивных выпадениях. Экспресс-информация, 1957, 38

32. Клечковский В.М., Целищева Г.И. Поведение радиоактивных продуктов в почвах. В сб.: О поведении радиоактивных продуктов деления в почвах, их поступлении в растения и накоплении в урожае. Изд. АН СССР, 1956, 3

33. Гулякин И.В., Коровкина А.С. Влияние механического состава почвы и органического вещества на поступление продуктов деления в растения. В том же сборнике, 131

-22-

**ДИНАМИКА
СУХОГО ВЕЩЕСТВА НАДЗЕМНОЙ МАССЫ ПШЕНИЦЫ
И НАКОПЛЕНИЕ В РАСТЕНИИ ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ**

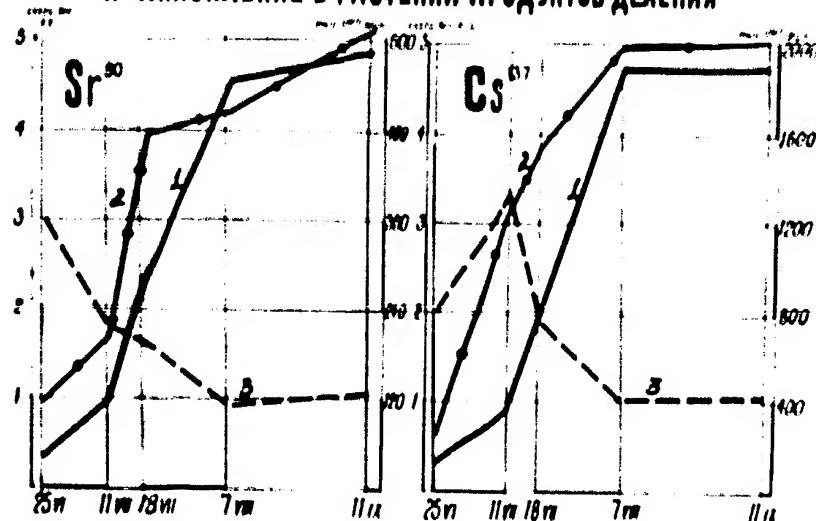


Рис.1. Динамика сухого вещества надземной массы пшеницы и накопление в растении продуктов деления:

- 1 - сухой вес одного растения (в г);
- 2 - тыс.имп/мин на одно растение;
- 3 - тыс.имп/мин на 1г сухого вещества

-23-

ДИНАМИКА
СУХОГО ВЕЩЕСТВА НАДЗЕМНОЙ МАССЫ ПШЕНИЦЫ И
НАКОПЛЕНИЕ В РАСТЕНИИ ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ

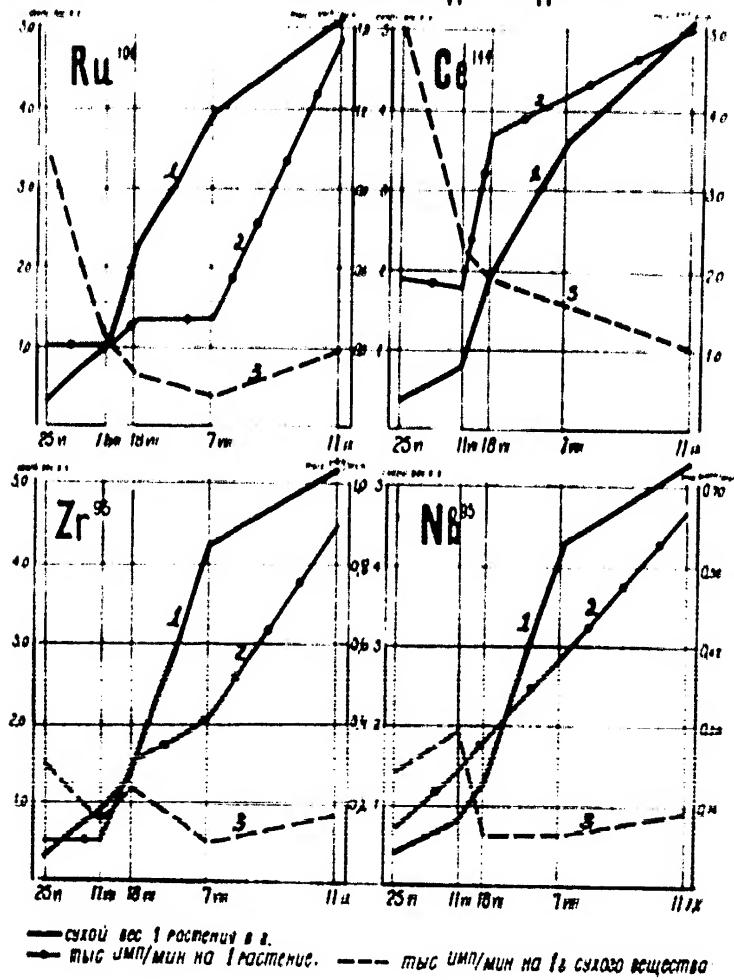


Рис.2. Динамика сухого вещества надземной массы пшеницы и накопление в растении продуктов деления:
1 - сухой вес одного растения (в г);
2 - тыс.имп/мин на одно растение;
3 - тыс.имп/мин на 1г сухого вещества

-24-

**ДИНАМИКА
СУХОГО ВЕЩЕСТВА НАДЗЕМНОЙ МАССЫ ГОРОХА
И НАКОПЛЕНИЕ В РАСТЕНИИ ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ**

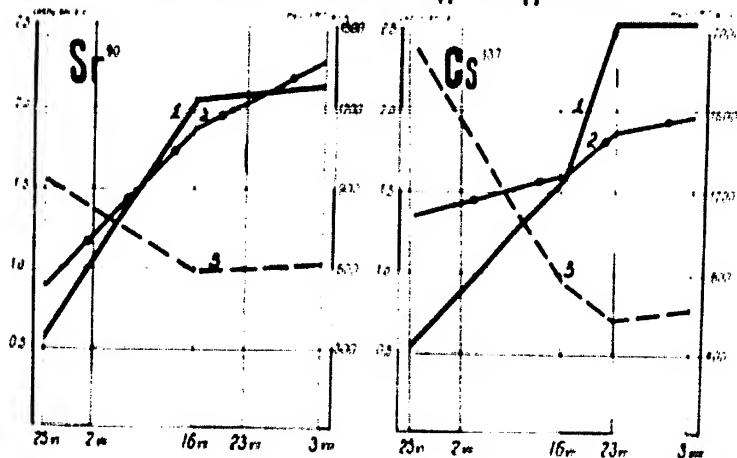


Рис.3. Динамика сухого вещества надземной массы гороха и накопление в растении продуктов деления:
 1 - сухой вес одного растения (в г);
 2 - тыс.имп/мин на одно растение;
 3 - тыс.имп/мин на 1г сухого вещества

-25-

**ДИНАМИКА
СУХОГО ВЕЩЕСТВА НАДЗЕМНОЙ МАССЫ ГОРОХА
И НАКОПЛЕНИЕ В РАСТЕНИИ ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ**

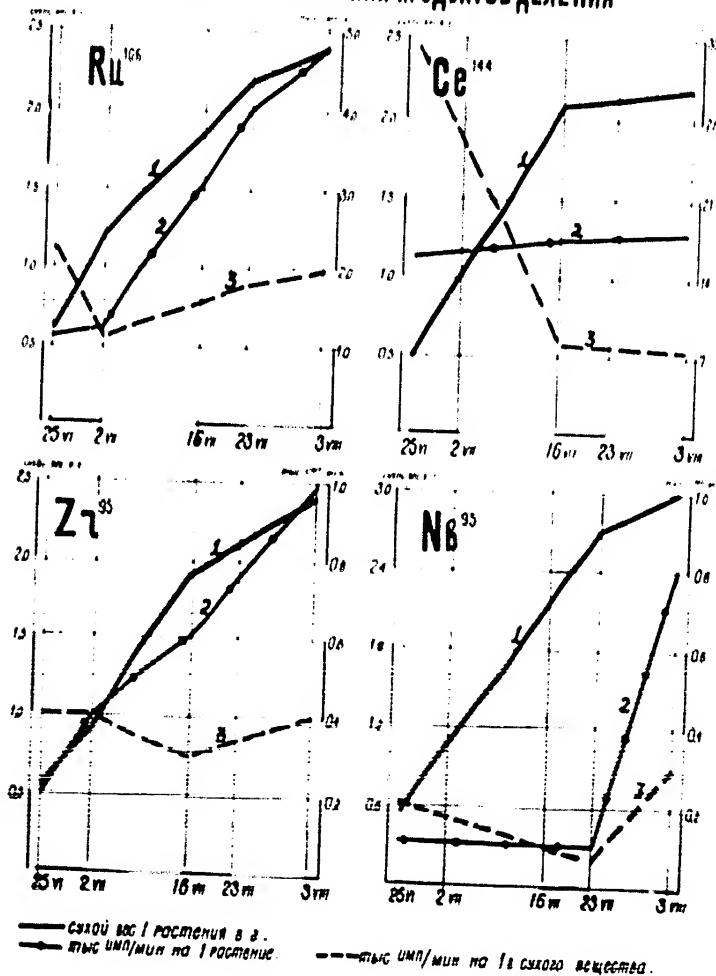


Рис.4 Динамика сухого вещества надземной массы гороха и накопление в растении продуктов деления:
 1 - сухой вес одного растения (в г);
 2 - тыс.имп/мин на одно растение;
 3 - тыс.имп/мин на 1г сухого вещества